

**РЕЗУЛЬТАТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕРВИЧНОГО ЭТАЛОНА  
ЕДИНИЦ ВРЕМЕНИ, ЧАСТОТЫ И НАЦИОНАЛЬНОЙ  
ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ ГЭТ 1-2018**

**С.И. Донченко, И.Ю. Блинов, Д.С. Купалов,  
И.Б. Норец, С.Н. Слюсарев, Ю.Ф. Смирнов**

*ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.  
norets\_igor@vniiftri.ru*

*В статье приведено описание Государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2018 после проведённых мероприятий по его совершенствованию. Представлен анализ основных метрологических характеристик эталона. Приведены направления дальнейшего развития и совершенствования эталона.*

*The article describes the state primary standard of units of time, frequency and the national time scale ГЭТ 1-2018 after the events taken to improve it. The analysis of the basic metrological characteristics of the standard is presented. Directions for further development and improvement of the standard are given.*

*Ключевые слова: государственный первичный эталон, время, частота, основные метрологические характеристики, совершенствование.*

*Key words: the state primary standard, time, frequency, basic metrological characteristics, improvement.*

Измерения времени и частоты — один из наиболее распространённых и точных видов измерений. Точность воспроизведения единиц времени и частоты, формирования и хранения национальной шкалы времени играет важнейшую роль для стратегических и приоритетных направлений развития Российской Федерации. Информация о национальной шкале времени широко используется во всех сферах жизнедеятельности государства, она обеспечивает высокоточную синхронизацию во времени множества процессов, имеющих различное применение в навигации и связи, в космонавтике, в системах управления движением, видеофиксации и часофикации, в системах транспортировки жидкостей и газов и др.

Национальная шкала времени Российской Федерации воспроизводится и хранится Государственной службой времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ) на основе Государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени (ГЭТ 1) [1]. Информация о точном значении времени и календарной дате, распространяемая ГСВЧ, является обязательной для использования в Российской Федерации [2].

В Российской Федерации содержатся и применяются восемь вторичных эталонов единиц времени и (или) частоты, более 100 тысяч рабочих эталонов, более 1500 типов средств измерений времени и частоты внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Непрерывно растущие требования потребителей к точности измерений времени и частоты, развитие и улучшение характеристик СИ времени и частоты влекут за собой необходимость постоянного совершенствования эталонной базы, и в первую очередь — ГЭТ 1.

ГЭТ 1 предназначен для независимого воспроизведения и хранения единиц времени, частоты и национальной шкалы времени, а также для их передачи в соответствии с требованиями Государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты.

Эталон содержится и применяется во ФГУП «ВНИИФТРИ», который в рамках ФЦП «ГЛОНАСС» за последние пять лет провёл масштабные мероприятия по совершенствованию эталона. Мероприятия включали в себя разработку и оснащение эталона новыми средствами воспроизведения, хранения и передачи единиц времени, частоты и национальной шкалы времени в составе:

- рубидиевые хранители и реперы частоты фонтанного типа с нестабильностью частоты не более  $2,0 \cdot 10^{-16}$ ;
- оптический репер частоты на холодных атомах стронция, с неисключённой систематической погрешностью воспроизведения единиц времени и частоты не более  $1,0 \cdot 10^{-16}$ ;
- эталонный комплекс времени и частоты на основе новейших стандартов частоты и времени водородных активного типа, с суточной нестабильностью частоты не более  $3,0 \cdot 10^{-16}$ .

Основу комплекса средств воспроизведения единиц в составе эталона по-прежнему составляют два метрологических цезиевых репера частоты фонтанного типа, которые производят единицы в строгом соответствии с определением секунды. Их принцип работы и анализ бюджета неопределённости измерений при воспроизведении единиц приведены в [4, 5]. В ходе мероприятий по совершенствованию в состав комплекса были включены рубидиевые реперы частоты фонтанного типа [6], которые с середины 2017 года активно используются при формировании национальных шкал атомного и координированного времени, а также оптический репер частоты на холодных атомах стронция  $^{87}\text{Sr}$  [7].

Комплекс хранения единиц состоит из шестнадцати водородных стандартов частоты активного типа, рубидиевого хранителя частоты фонтанного типа, средств внутренних и внешних сличений. Новые технические средства

были включены в состав ГЭТ 1 в 2017 году, что позволило улучшить характеристики эталона (табл. 1).

2 ноября 2017 года, спустя ровно 50 лет после того, как эталон был впервые утвержден Постановлением комитета стандартов при Совете Министров СССР от 02.11.1967 г. № 146 межведомственная комиссия провела его государственные испытания. Комиссия установила соответствие ГЭТ 1 заданным обязательным требованиям, осуществила первичную аттестацию эталона и рекомендовала Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии его утвердить. В новом составе и с улучшенными характеристиками эталон был утверждён приказом руководителя Росстандарта от 02.04.2018 года № 600 с присвоением ему регистрационного номера ГЭТ 1-2018.

В связи с изменением характеристик ГЭТ 1 разработана и утверждена приказом Росстандарта от 31.07.2018 года № 1621 новая государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты, которая имеет шесть ступеней передачи единиц от первичного эталона средствам измерений и позволит повысить качество обеспечения единства измерений времени и частоты.

Таблица 1

Сравнительные метрологические и технические характеристики  
ГЭТ 1 до и после совершенствования

Метрологическая характеристика	ГЭТ 1-2012	ГЭТ 1-2018
Доверительные границы относительной неисключенной систематической погрешности воспроизведения единиц времени и частоты при $P = 0,99$	$\leq 5,0 \cdot 10^{-16}$	$\leq 5,0 \cdot 10^{-16}$
Среднее квадратическое отклонение результатов измерений при воспроизведении единиц времени и частоты при интервале времени измерений 1 сут	$\leq 5,0 \cdot 10^{-15}$	$\leq 1,0 \cdot 10^{-15}$
Относительная нестабильность единиц времени и частоты при интервалах времени измерения 10–30 сут	$\leq 1,0 \cdot 10^{-15}$	$\leq 1,0 \cdot 10^{-15}$
Пределы допускаемых смещений национальной шкалы времени UTC(SU) относительно UTC, нс	$\pm 10$	$\pm 7$

Продолжение таблицы 1

Метрологическая характеристика	ГЭТ 1-2012	ГЭТ 1-2018
Диапазон измеряемых интервалов времени, с	$1,0 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^8$	$1,0 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^8$
Диапазон измеряемых частот, Гц	$1,0 - 5,0 \cdot 10^{14}$	$1,0 \cdot 10^{-3} - 5,7 \cdot 10^{14}$

### Международные сличения

ГЭТ 1 непрерывно участвует в Международных ключевых сличениях ССТФ-К001.UTC. Национальная шкала времени рассчитывается ежедневно, и ежедневно измерительная информация эталона передается в Отделение времени МБМВ. Это несколько видов информации, общий объем которой составляет более 400 Мб в год. Таким образом, обеспечивается вклад Российской Федерации в формирование Международных шкал атомного и координированного времени TAI и UTC, а также прослеживаемость национальной шкалы времени UTC(SU) к UTC.

Результаты Международных ключевых сличений ежемесячно публикуются Отделением времени МБМВ в виде циркуляров «Т» и других данных, которые являются исходными для сравнительного анализа метрологических характеристик национальных шкал времени и эталонов, представленные на рисунках 1, 2 и в таблице 2.

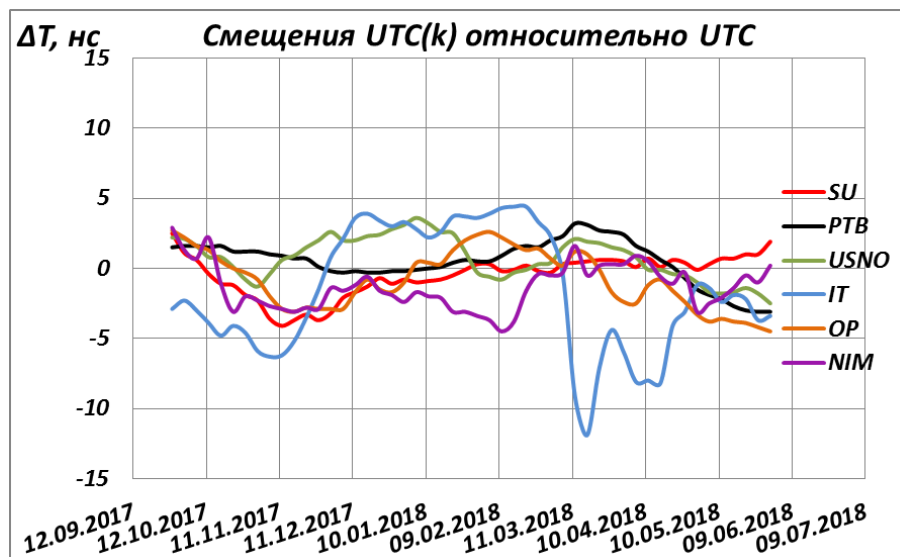


Рис. 1. Сравнительные оценки смещений шкал координированного времени UTC(k) относительно UTC в 2107–2018 гг.

Сравнительные оценки характеристик по официальным данным МБМВ подтверждают, что национальная шкала времени UTC(SU) входит в число лучших реализаций UTC, а также что нестабильность частоты и характеристики воспроизведения единиц времени и частоты ГЭТ 1 находятся на уровне ведущих зарубежных эталонов.

Таблица 2

Сравнительные характеристики средств воспроизведения единиц времени и частоты

Характеристики национальных эталонов	ВНИИФТРИ, Россия	РТВ, Германия	ОР, Франция	IT, Италия
Стандартная неопределённость измерений при воспроизведении единиц времени и частоты	$2,4 \cdot 10^{-16}$	$2,0 \cdot 10^{-16}$	$2,8 \cdot 10^{-16}$	$1,7 \cdot 10^{-16}$

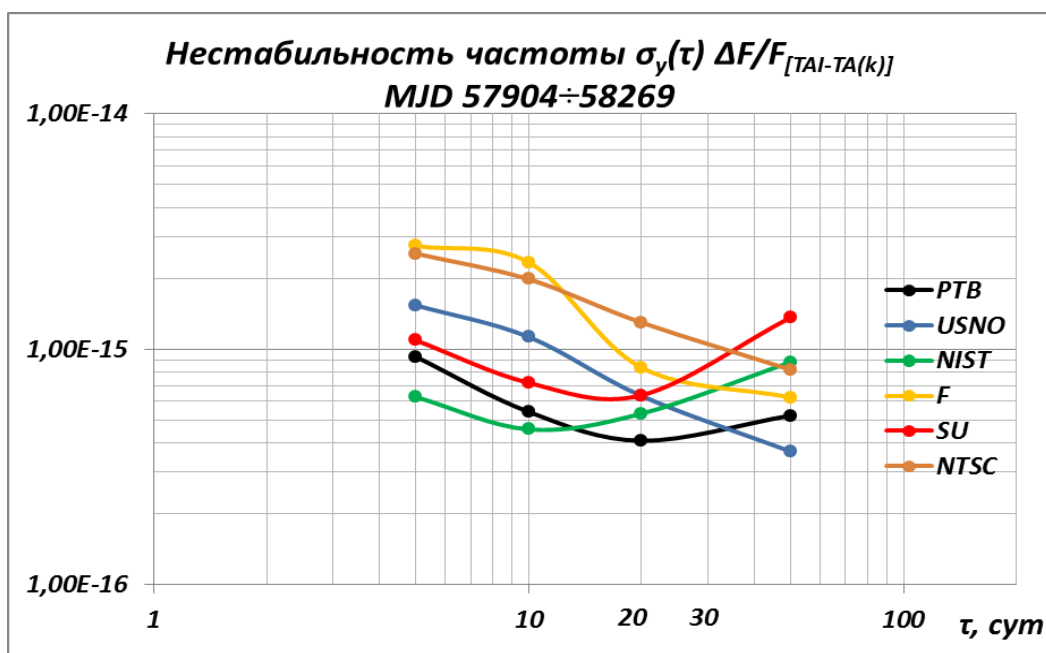


Рис. 2. Сравнительные оценки нестабильности шкал атомного времени TA(k) относительно TAI на интервале времени наблюдений один год

### Направления дальнейшего развития и совершенствования эталона

Дальнейшее развитие ГЭТ 1 запланировано в рамках Федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» и будет осуществляться по следующим основным направлениям:

- модернизация комплекса хранения национальной шкалы времени для обеспечения согласования национальной шкалы времени UTC(SU) с UTC с погрешностью не более  $\pm 3$  нс;
- совершенствование средств и методов сравнения шкал времени территориально удалённых эталонов, разработка высокоточных средств сличений национальной шкалы координированного времени UTC(SU) со шкалой времени системы ГЛОНАСС и другими лабораториями времени;
- совершенствование средств воспроизведения и хранения единиц времени и частоты в интересах достижения тактико-технических характеристик системы ГЛОНАСС на 2020 г.

В результате выполнения данных работ предполагается, что точность формирования национальной шкалы времени к 2020 году повысится до  $\pm 3$  нс (табл. 3).

Таблица 3

Требования ФЦП «ГЛОНАСС» к характеристикам формирования национальной шкалы времени UTC(SU)

Погрешность согласования национальной шкалы времени с Международной шкалой координированного времени, нс	Год		
	2018	2019	2020
	$\pm 5$	$\pm 4$	$\pm 3$

### Заключение

В результате выполненных мероприятий по совершенствованию ГЭТ 1-2018 имеет улучшенные метрологические характеристики, сопоставимые с лучшими зарубежными аналогами. Разработаны и введены в состав эталона новые средства воспроизведения, хранения и передачи единиц времени и частоты. Внедрение усовершенствованного эталона обеспечит достижение требований ФЦП «ГЛОНАСС» к характеристикам формирования национальной шкалы времени UTC(SU), позволит Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии успешно выполнять задачи, возложенные на него Постановлениями Правительства Российской Федерации [2, 3]. Реализация новой Государственной поверочной схемы обеспечит удовлетворение со-

временных и перспективных требований потребителей к единству и точности измерений времени и частоты, к информации о национальной шкале времени и эталонных частотах, распространяемой ГСВЧ.

#### Литература

1. Федеральный закон от 03.06.2011 № 107-ФЗ «Об исчислении времени».
2. Постановление Правительства РФ от 23 марта 2001 г. № 225 «Об утверждении Положения о Государственной службе времени, частоты и определения параметров вращения Земли».
3. Постановление Правительства РФ от 30 апреля 2008 г. № 323 «Об утверждении положения о полномочиях федеральных органов исполнительной власти по поддержанию, развитию и использованию глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах обеспечения обороны и безопасности государства, социально-экономического развития Российской Федерации и расширения международного сотрудничества, а также в научных целях».
4. Домнин Ю.С., Барышев В.Н., Бойко А.И., Елкин Г.А., Новоселов А.В., Копылов Л.Н., Купалов Д.С. Цезиевый репер частоты фонтанного типа МЦР-Ф2 // Измерительная техника. — 2012. — № 10.
5. Блинов И.Ю., Бойко А.И., Домнин Ю.С., Костромин В.П., Купалова О.В. Бюджет неопределённости цезиевого репера частоты фонтанного типа // Измерительная техника. — 2017. — № 1. — С. 23–27.
6. Blinov I., Boiko A., Kosheliaevskii N., Kupalova O., Sokolova O. First Experiments on Application of Rb Fountain Frequency Standards for TA (SU) Time Scale Maintenance. European Frequency and Time Forum (EFTF). — April 10th-12th, 2018, National Museum of Automobiles, Torino, Italy. — P. 257–262.
7. Бердасов О.И., Сутырин Д.В., Стрелкин С.А., Грибов А.Ю., Белотелов Г.С., Костин А.С., Колачевский Н.Н., Слюсарев С.Н. О продолжительности непрерывной работы оптического стандарта частоты на атомах стронция // Квантовая электроника. — 2018. — 48:5. — С. 431–437.
8. Circular «Т» №№ 354, 365. BIPM, Time Department. — URL: <https://www.bipm.org>.